

На правах рукописи



Саморукова Ольга Дмитриевна

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО ЛЕЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ
В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» на кафедре «Вычислительная и прикладная математика».

Научный Руководитель: **Крошилин Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Официальные оппоненты: **Фролов Сергей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов;

Крамм Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры основ радиотехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза.

Защита состоится 24 апреля 2026 года в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 24.2.375.03 в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф.Уткина» и на сайте университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 2026 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина».

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



Г.В. Овечкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современном научном мире ежедневно появляется большое количество информации о синтезируемых лекарственных средствах (ЛС), рынок фармакологических средств непрерывно развивается, появляется множество аналогов известных препаратов, происходит активное импортозамещение и развитие отечественных фармакологических компаний, значительное количество лекарственных препаратов выводится из оборота. В то же время база медицинских знаний непрерывно наполняется статистикой об эффективности проводимой медикаментозной терапии для пациентов с различными заболеваниями, личными профилями и историями болезней. Непрерывный мониторинг рынка лекарственных препаратов с одной стороны и результатов терапии с другой является трудоемкой задачей для специалистов (врачей, фармацевтов, провизоров).

Глобальной задачей системы здравоохранения является качественное оказание медицинской помощи населению. Под качественной медициной можно понимать ее доступность для всех слоев населения, а также безопасность медицинской деятельности. Для обеспечения доступности медицинской помощи необходимо осуществление грамотного управления медицинскими организациями. Особого внимания требует соблюдение баланса между экономической эффективностью и выполнением социальной миссии здравоохранения, включая механизмы распределения бюджета между профилактикой, первичной помощью и стационарным лечением. При решении вопросов построения прогнозов бюджетов медицинских организаций и их исполнения важную роль играет распределение средств, в том числе на необходимые лекарственные средства. Оптимизация расходов на медикаменты представляет собой один из ключевых факторов исполнения бюджета лечебно-профилактических учреждений. Что касается аспектов безопасной медицинской деятельности, то одной из ее составляющих является лекарственная безопасность, поскольку риски возникновения побочных действий из-за индивидуальных особенностей пациентов, а также риски межлекарственного взаимодействия являются одной из основных проблем здравоохранения во всем мире.

В настоящее время становится понятным, что данных о проведенных клинических испытаниях не всегда достаточно при применении препарата в широкой практике, т.е. они являются полными и достаточными для введения препарата в оборот, но при этом в ходе широкого применения могут появиться важные дополнения о возможных реакциях для различных групп пациентов. Активную поддержку получает рациональная фармакотерапия, целью которой является достижение максимального результата в процессе медикаментозного лечения при минимизации рисков возникновения нежелательных побочных эффектов. При подборе препарата необходимо принимать во внимание не только основные показания к его применению, но и возможные противопоказания, взаимодействие с другими лекарствами и нежелательные реакции. Отдельного внимания требует оценка возможностей

проведения комбинированной лекарственной терапии, т.е. одновременного применения нескольких лекарственных средств для достижения наилучших результатов лечения заболевания.

Систематизация данных о выявленных побочных действиях в процессе широкого применения препаратов, в том числе в составе комбинированной терапии, а также межлекарственном взаимодействии способна снизить риск нежелательного воздействия медикаментозного лечения на пациентов. Накопление данных об эффективности проводимого лечения и выявленных эффектах возможно с применением соответствующих информационных систем медицинского назначения, а использование накопленной статистики позволяет значительно сократить время на подбор персонализированной схемы лечения с одной стороны, а также снизить негативное воздействие от медикаментозной терапии для различных групп населения с другой.

Таким образом, научно-технической задачей настоящего исследования является разработка методов и алгоритмов, позволяющих на основе систематизированных данных о лекарственных средствах, их взаимодействии и влиянии на пациентов с различным анамнезом осуществлять процесс управления медикаментозным лечением в соответствии с требованиями персонализированной медицины и необходимостью решения вопросов рационального использования лекарств на основе теории нечеткой логики.

Степень разработанности темы диссертационного исследования.

Проблемами формирования верифицированных массивов медицинских данных занимаются такие авторы, как: Г. Игнатенкова, О. Гончарова, А. Пятов, В.Л. Малых, Я.И. Гулиев, Д.В. Бельшев, А.В. Кузминов, С.В. Рудецкий, С.В. Фролов, М.Н. Крамм, М.И. Хаткевич и др. Решению вопросов автоматизированной обработки текстовой информации посвящены труды таких отечественных и зарубежных авторов, как К.В. Воронцов, Ю.А. Загорулько, А.В. Заболева-Зотова, В.Л. Розалиев, М.М. Виньков, А.Л. Шаграев, А. Berger, Т.М. Mitchell, F. Sebastiani, I.H. Witten и др. В части решения задач обеспечения эффективного функционирования баз данных можно выделить следующих авторов: С.Д. Кузнецов, М.Р. Когаловский, В.К. Волк, А. Berger, R.J. Muller, J. Ulman, M. Stonebraker и др. В области применения семантических сетей в медицине можно выделить: М.Н. Кушеева, А.А. Баранов, Л.С. Намазова-Баранова, И.В. Смирнов, Д.А. Девяткин, А.О. Шелманов, Л.В. Массель, А.Г. Массель, Р. Стэнли, Э. Гомбоц, З. Роадс, Э. Гомбоц. Применению нечетких технологий в медицине посвящены работы следующих авторов: Н.А. Корневский, Б.А. Кобринский, Л.А. Коробова и Т.В. Гладких, Бейтс Дж. Х.

Объектом диссертационного исследования является процесс медикаментозного лечения пациентов и возможность управления им с применением информационных систем медицинского назначения, в частности систем поддержки принятия медицинских решений.

Предметом исследования методы и алгоритмы управления процессами в области медикаментозного лечения пациентов, в частности

семантические сети и нечеткая логика, а также способы извлечения и структуризации текстовой информации.

Цели и задачи диссертационной работы. Целью исследования является разработка методов и алгоритмов, решающих задачу подбора лекарственной терапии в рамках процесса управления медикаментозным лечением пациентов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ нормативной базы в части оборота лекарственных средств, принципов классификации лекарственных препаратов, требований к инструкциям по их применению и существующих информационных систем медицинского назначения;

- разработать метод и алгоритм для подбора схем медикаментозного лечения пациентов, удовлетворяющих требованиям персонализированной медицины;

- разработать алгоритм подбора торговых наименований лекарственных средств из перечня разрешенных к применению, исходя из личного профиля пациента;

- разработать алгоритм обработки, извлечения и структуризации информации о лекарственных средствах;

- разработать структуру базы данных, используемой для хранения извлеченной информации и обеспечивающей возможность многокритериального поиска и извлечения требуемой информации в формализованном виде;

- разработать метод реализации системы медицинского назначения для управления процессом медикаментозного лечения пациентов.

Научная новизна

1. Разработаны метод и алгоритм персонализированного подбора схем медикаментозного лечения пациентов, подход отличается тем, что реализован на основе нечетких деревьев решений и обеспечивает повышение эффективности лечения (соответствует п. 15 паспорта специальности 2.2.12).

2. Предложен алгоритм извлечения информации из инструкций по применению лекарственных препаратов согласно схемам медикаментозного лечения, отличающийся оригинальной моделью структуры базы данных, позволяющей снизить время назначения и расчет режимов дозирования лекарств (соответствует пп. 15, 20 паспорта специальности 2.2.12).

3. Обоснован способ решения задачи выбора лекарственных средств по торговым наименованиям, отличающийся от известных реализацией на основе теории семантических сетей, что позволяет учитывать межлекарственное взаимодействие и возможные нежелательные реакции (соответствует п. 15 паспорта специальности 2.2.12).

4. Предложен метод реализации систем медицинского назначения для управления процессом медикаментозного лечения пациентов, отличающийся применением теории нечеткой логики, что позволяет учитывать требования персонализированной медицины (соответствует пп. 3, 20 паспорта специальности 2.2.12).

Практическая значимость. Представлен метод подбора схем медикаментозного лечения пациентов с использованием алгоритмов нечеткой логики, который дает возможность подбирать персонализированные схемы лечения пациентов в рамках установленных стандартов с учетом их эффективности на основании верифицированных статистических данных, который может быть использован как в медицинских учреждениях, так и в аптечных сетях.

Разработан алгоритм извлечения данных из инструкций по применению препаратов, а также структура реляционного хранилища, позволяющего осуществлять поиск требуемых лекарственных средств. Представлен метод реализации системы медицинского назначения, в частности, структура системы поддержки принятых решений подбора лекарственных средств для лечения пациентов, удовлетворяющих требованиям персонализированной медицины и снижения рисков нежелательного воздействия при проведении медикаментозного лечения, а также ее программная реализация.

Методы исследования. Методология работы основана на обобщении, индукции, дедукции и анализе теоретического и практического материала. При проведении исследований и разработке программного и алгоритмического обеспечения используются следующие методы: интеллектуальный анализ текстовых данных, теория нечеткой логики, построение семантических сетей для решения задач в области медицины, реализация структур медицинских баз данных.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод и алгоритм персонализированного подбора схем медикаментозного лечения пациентов на основе нечетких деревьев решений, обеспечивающие повышение эффективности лечения на 15-21,5%.

2. Алгоритм извлечения информации из инструкций по применению лекарственных препаратов согласно схемам медикаментозного лечения на основе оригинальной модели структуры базы данных, позволяющей снизить время назначения и расчет режимов дозирования лекарств на 9%.

3. Способ решения задачи выбора торговых наименований лекарственных средств, учитывающий межлекарственное взаимодействие и возможные нежелательные реакции на основе теории семантических сетей.

4. Метод реализации систем медицинского назначения для управления процессом медикаментозного лечения пациентов на основе теории нечеткой логики.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских научных конференциях: XVIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» НИТ-2023 (Рязань, 2023), XXXVI Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные

устройства и робототехнические комплексы», БИОМЕДСИСТЕМЫ-2023 (Рязань, 2023), VII Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании», СТНО-2024 (Рязань, 2024), Международная научно-практическая конференция по перспективным достижениям в информатике, информационным системам и сетям ETISSN 2024 (Узбекистан, 2024), XXIX Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях», НИТ-2024 (Рязань, 2024), VIII Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании», СТНО-2025 (Рязань, 2025), XXXVI Международная научно-практическая конференция «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2025), X Международная научно-практическая конференция: «Наука. Образование. Инновации: новые подходы и актуальные исследования» (Анапа, 2025 г.), Международная научная конференция «Анализ проблем и поиск перспективных научных решений» (Санкт-Петербург, 2025 г.).

Внедрение результатов работы. Предложенные методы и алгоритмы управления процессом медикаментозного лечения на основе нечеткой логики в системах медицинского назначения используются в работе, разработках и исследованиях:

- рязанского филиала региональной сети аптек ООО «Ригла» при подборе лекарственных средств в соответствии с принципами персонализированной медицины, с проверкой лекарственных средств на совместимость, а также при подборе формы лекарственного средства и расчет необходимых дозировок действующих веществ с учетом наличия препаратов в аптечной сети и возможности замены на аналоги;

- ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина» в рамках учебного процесса по направлениям 09.03.04 и 09.04.04 – Программная инженерия; 09.03.03 и 09.04.03 – Прикладная информатика.

Публикации. Основные положения и результаты выполненных исследований отражены в 22 публикациях, среди которых 5 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК; 2 публикации, индексируемые в международных реферативных базах Web of Science и (или) Scopus; 4 статьи в научно-технических журналах и межвузовских сборниках; 10 тезисов докладов на Международных и Всероссийских конференциях; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (РОСПАТЕНТ).

Личный вклад автора. Основные научные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль в формулировке задач, обосновании методов их решения, анализе полученных результатов.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского

назначения, пункты 3, 15, 20.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, приложений и списка литературы. Материал изложен на 173 страницах, включает 46 рисунков и 15 таблиц, а также 2 приложения. Список использованной литературы содержит 129 наименований.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, цель диссертационной работы, задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, сведения об объекте, предмете и методах исследования. Отражена научная новизна полученных результатов диссертационной работы и положения, выносимые на защиту. Представлена апробация полученных результатов.

В **первой главе** работы проведен всесторонний анализ принципов построения систем поддержки принятия медицинских решений, рассмотрены способы классификации лекарственных средств, а также существующие методы их кодификации и дана оценка возможности использования кодов при построении системы поддержки принятия решений в части медикаментозного лечения (МЛ) пациентов. Выявлены источники информации о лекарственных средствах и принципы оборота ЛС на территории Российской Федерации. Особое внимание уделено вопросу особенностей назначения МЛ и подбора лекарственных препаратов, приведены причины возникновения неопределённости в процессе медикаментозного лечения, а также способы управления ею.

Во **второй главе** раскрываются теоретические аспекты применения информационных систем медицинского назначения, а также возможности применения семантических сетей и нечеткой логики в медицинских информационных системах.

В рамках разработки семантической модели для подбора торговых лекарственных препаратов представлены основные элементы семантической сети. На рисунке 1 представлена простейшая семантическая сеть с понятиями и атрибутами для описания ЛС по торговому наименованию.

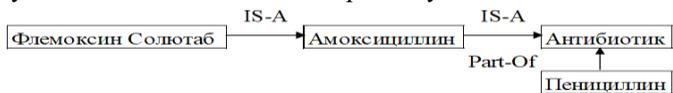


Рисунок 1 - Семантическая сеть с понятиями и атрибутами

На рисунке 2 показан пример концептуального графа, который описывает свойства препарата «Флемоксин Соллютаб», а также область его применения.

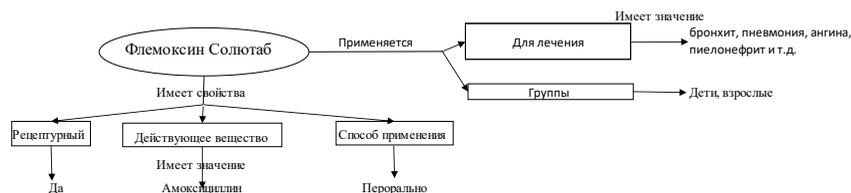


Рисунок 2 - Пример концептуального графа для представления лекарственного средства внутри системы медицинского назначения

В медицине данные сети используются для описания заболеваний, лекарственных средств и взаимодействия между ними. Дальнейшее применение построенных сетей возможно для моделирования причинно-следственных связей, построения диагностических алгоритмов, представления патогенеза заболеваний, проверку лекарственных средств на их возможное взаимодействие. Для получения новых знаний из существующих взаимосвязей используются импликационные сети. Пример таких сетей представлен на рисунке 3.

Комбинирование различных видов сетей дает возможность осуществлять подбор лекарственных средств с учетом их взаимодействия, а также с учетом влияния их применения на конкретного пациента. В условиях наличия неопределенности при подборе схем МЛ пациентов особенно актуальным является применение когнитивного подхода и нечеткой логики. Подход когнитивных технологий в здравоохранении основан на анализе и понимании всей структурированной и неструктурированной информации, связанной с состоянием здоровья пациента.



Рисунок 3 – Импликационная сеть с информацией об аллергической реакции внутри информационной системы

Использование когнитивных технологий в медицине помогает решить ряд важных задач, таких как объединение структурированных данных (в решаемой задаче о ЛС) с неструктурированной информацией о пациентах, методах лечения и другой; обеспечение доступа к актуальной информации о новых тенденциях, клинических рисках и инновациях в сфере здравоохранения; объединение научных данных с персонализированной медицинской информацией и данными из широкой клинической практики, чтобы сделать ее доступной для медицинских консультаций.

Проведенный анализ существующих МИС показал отсутствие связи между информационными системами для лечения пациентов и МИС аптечных сетей (рисунок 4).



Рисунок 4 - Группы информационных систем и их функции

В информационных системах медицинского назначения в рамках деятельности аптечных учреждений возможен подбор аналогов назначенных врачом ЛС с учетом действующих веществ. Внедрение в МИС для аптек алгоритмов подбора ЛС с учетом межлекарственного взаимодействия и расчетом режимов дозирования позволит обеспечить интеграцию с МИС для лечения пациентов и подбирать препарат для пациентов в случае возникновения необходимости без увеличения рисков нежелательных взаимодействий, что позволит снизить повторные визиты к врачу.

Помимо этого, важной функцией МИС является администрирование деятельности ЛПУ, в частности бюджетирование и контроль расходов. Интеграции СППВР в части медикаментозного лечения пациентов с системами прогнозирования бюджета ЛПУ способна обеспечивать снижение расходов медицинских учреждений за счет оптимизации схем лечения пациентов и повышения точности построения прогнозов проведения МЛ.

В третьей главе рассмотрены методы и алгоритмы управления процессом МЛ на основе нечеткой логики в системах медицинского назначения. На рисунке 5 представлены основные компоненты системы поддержки принятия решений при подборе МЛ.

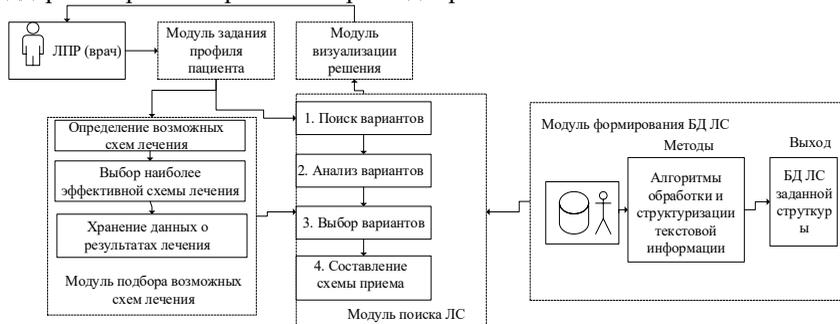


Рисунок 5 – Основные компоненты системы поддержки принятия решений при подборе медикаментозного лечения

1. Модуль задания профиля пациента может быть интегрирован с электронной медицинской картой (ЭМК) пациента.
2. Модуль подбора возможных схем лечения, исходя из индивидуальных особенностей пациента с применением алгоритмов нечеткой логики, в котором определяются действующие вещества для лечения заболевания.
3. Модуль поиска необходимых ЛС с учетом проверки на возможность их взаимодействия с другими ЛС, если таковые применяются пациентом. Для решения задачи выбора предлагается использование семантических сетей.
4. Модуль формирования базы данных лекарственных средств. Здесь происходит извлечение необходимой информации о ЛС из инструкции о его применении, а также формирование реляционного хранилища.
5. Модуль визуализации, в котором выводится вся информация по подобранному МЛ с подробным описанием схемы приема, возможными аналогами, возможностью формирования рецептов в случае, если препарат отпускается строго по ним.

Описание процесса медикаментозного лечения с точки зрения процесса управления представлено на рисунке 6. Субъектом управления выступает лицо принимающее решение – врач, а объектом – непосредственно процесс медикаментозного лечения, включающий в себя 4 стадии: подбор схемы лечения, контроль периода применения назначенного лечения, контроль выполнения выданных рекомендаций, а также оценка результатов.

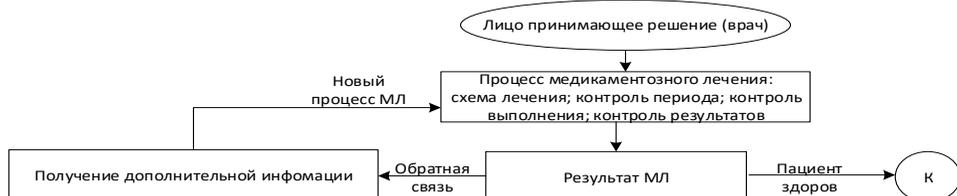


Рисунок 6 – Схема процесса управления медикаментозным лечением

За счет непрерывного накопления статистики по эффективности лечения различных заболеваний, актуализации базы данных ЛС и вновь выявленных межлекарственных взаимодействий проектируемая система способна повысить эффективность МЛ, а также повысить готовность пациентов к лечению, благодаря возможностям задания предпочтительных форм лекарственных препаратов, а также автоматическому формированию подробных рекомендаций по применению ЛС. Для решения задачи определения схем лечения пациентов используются зарекомендовавшие себя при решении задач в области медицины алгоритмы нечеткой логики, а именно построение нечетких деревьев решений, т.е. причинно-следственные модели где узлы представляют собой потенциальные состояния процессов, а дуги между узлами указывают как на вероятностные переходы, так и на причинно-следственные зависимости между ними. Использование данного метода позволяет хранить информацию о том, что исследуемый объект может обладать в какой-либо степени признаками нескольких объектов.

Исходя из проведенного анализа различных клинических рекомендаций, можно определить набор критериев для выбора схем лечения: группа риска по хроническим заболеваниям (x_1); группа риска по аллергическим реакциям (x_2); простота и доступность схемы лечения (x_3); эффективность схемы лечения (x_4).

С целью построения дерева решений используется метод определения степени принадлежностей каждого критерия к определенному узлу дерева. Сначала осуществляется фазсификация критериев оценок, используя трапециевидную трехуровневую функцию принадлежности, позволяющую задавать нечеткие интервалы, представлена (1).

$$f_T(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0; & 0 \leq x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x < b \\ 1; & b \leq x < c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; & c \leq x < d \\ 1; & d \leq x \end{cases} \quad (1)$$

где a, b, c, d – некоторые числовые параметры, принимающие произвольные значения и удовлетворяющие условию $a \leq b \leq c \leq d$. Значения нечетких термов обозначаются как «высокий», «средний», «низкий». Первым шагом при построении дерева решений вычислим коэффициент принадлежности P_i^N , обозначающий степень принадлежности примеров от i до N . Для этого введем соотношение примеров $D_j \in S^N$ узла N для целевого значения i , вычисляемое как:

$$P_i^N = \sum_{S^N} \min(\mu_N(D_j), \mu_i(D_j)), \quad (2)$$

где $\mu_N(D_j)$ – степень принадлежности примера D_j , к узлу N , $\mu_i(D_j)$ – степень принадлежности примера относительно целевого значения i , S^N – множество всех примеров узла N . Затем находим коэффициент $P^N = \sum_i P_i^N$, обозначающий общие характеристики примеров узла N . В случае с нечеткими деревьями используем отношение $\frac{P_i^N}{P^N}$, которое учитывает степени принадлежности примеров, принадлежащих к определенному критерию.

Вторым шагом определим усредненную оценку количества информации для определения класса объекта из множества P^N . Для этого используем формулу:

$$E(S^N) = -\sum_i \frac{P_i^N}{P^N} \cdot \log_2 \frac{P_i^N}{P^N}. \quad (3)$$

Третьим шагом вычислим энтропию, т.е. меру неопределенности объекта, который может иметь различное количество информации, для разбиения по критерию A со значениями a_j :

$$(S^N, A) = \sum_j \frac{P_i^{N|j}}{P^N} \cdot E(S^{N|j}), \quad (4)$$

где узел $N|j$ – дочерний для узла N . Выбираем критерий A^x с максимальным приростом информации:

$$G(S^N, A) = E(S^N) - E(S^N, A), \quad A^x = \operatorname{argmax}_A G(S^N, A) \quad (5)$$

Четвертым шагом узел N разбивается на несколько подузлов $N|j$. Степень принадлежности примера D_k узла $N|j$ вычисляется из узла N пошагово в соответствии с формулой:

$$\mu_{N|j}(e_k) = \min(\mu_{N|j}(D_k), \mu_{N|j}(D_k, a_j)), \quad (6)$$

где $\mu_{N/j}(D_k, a_j)$ отражает степень принадлежности примера D_k к признаку a_j . В случае, если все примеры в подузле N/j имеют степень принадлежности равную нулю, подузел удаляется. Алгоритм выполняется до тех пор, пока все узлы не будут классифицированы, либо пока все критерии не будут использованы. Принадлежность к целевому классу для новой записи определяется по формуле:

$$\delta_j = \frac{\sum_l \sum_k P_k^l \cdot \mu_l(D_j) \cdot \chi_k}{\sum_l \mu_l(D_j) \cdot \sum_k P_k^l}, \quad (7)$$

где P_k^l – коэффициент соотношения примеров листа дерева l для значения целевого класса k , $\mu_l(D_j)$ – степень принадлежности примера D_j к узлу l ;

χ_k – принадлежность значения целевого класса k к положительному значению исхода классификации. Таким образом, описанный выше алгоритм позволяет определить схему лечения, наиболее подходящую для конкретного пациента с его индивидуальными особенностями.

Общий вид нечеткого дерева решений представлен на рисунке 7. При завершении работы по определению рекомендованной схемы лечения осуществляется *подбор лекарственных средств*, доступных к применению. Фрагмент модели семантической сети для подбора лекарственных средств представлен на рисунке 8.

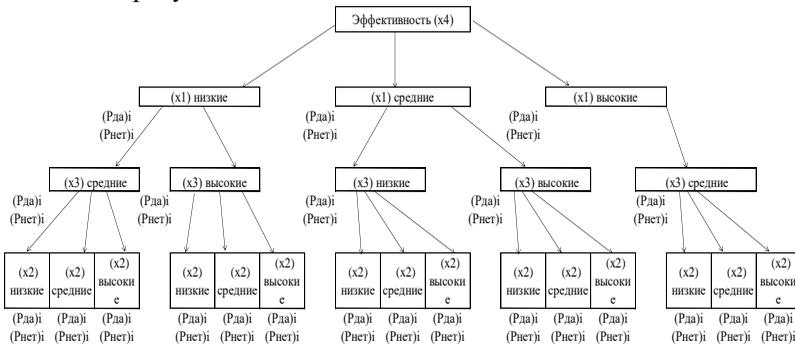


Рисунок 7 - Общий вид нечеткого дерева решений

Модель содержит 5 основных сущностей: пациент, действующее вещество, межлекарственное взаимодействие, лекарственное средство и дозировка. С целью реализации алгоритма предполагается создание базы данных оригинальной структуры с описанием лекарственных препаратов и базы данных с описанием действующих веществ. Связь между активным веществом и медицинским препаратом, в который она входит, обеспечивается тем, что в информацию о каждом таком веществе дублируется информация о лекарстве. Получение данных о лекарственных средствах осуществляется с использованием алгоритма автоматического извлечения данных из текстовых инструкций по применению ЛС,

основанном на использовании инструмента «регулярные выражение» с последующей верификацией извлеченных данных и занесением их в базу данных оригинальной структуры. Получение информации о пациенте возможно либо из его ЭМК, либо путем добавления записей вручную.

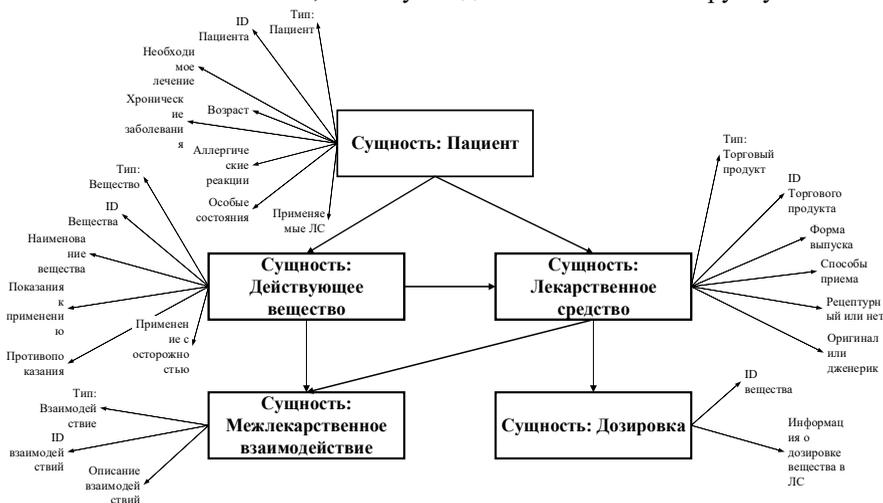


Рисунок 8 – Фрагмент семантической сети для подбора ЛС

Проверка на межлекарственное взаимодействие осуществляется по всем препаратам, внесенным как набор характеристик пациента «Применяемые лекарственные средства». В случае необходимости подбора комплексного лечения предполагается осуществление проверки препаратов между собой и с перечнем препаратов, внесенных в поле «Применяемые ЛС». С целью расчета весовых коэффициентов эффективности для назначаемых схем лечения определим критерии базового уровня, связанные с процессом МЛ, такие как эффективность, безопасность и готовность пациента к лечению.

После определения критериев базового уровня для каждого из них могут быть определены критерии следующего уровня. Для критерия «готовность пациента к лечению» построенная иерархия имеет вид: схема приема лекарств, форма введения, простота приобретения; для критерия «эффективность»: период достижения предполагаемых результатов, необходимость корректировки лечения, отсутствие изменений или ухудшение состояния пациента.

С целью оценки и ранжирования предлагается проведение анкетирования как врачей, так и пациентов. Результаты опроса экспертов сводятся в матрицу опроса размером $m \times n$, где m – количество экспертов, n – количество факторов. Расчет весовых коэффициентов производится по представленному алгоритму: рассчитывается сумма весов, даваемая i -м экспертом всем элементам (8); рассчитывается относительный вес j фактора на основании оценки i эксперта (9); рассчитывается результирующий вес j фактора (10).

$$B_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (8)$$

$$W_{ij} = \frac{b_{ij}}{B_i} \quad (9)$$

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m W_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (10)$$

Расчет весов групп факторов основан на той же последовательности действий экспертного метода нормирования. Следует учитывать, что группы факторов, скорее всего, окажутся не равнозначными, а значит, полученные весовые значения факторов должны быть пересчитаны с учетом веса групп факторов.

В результате работы предложенного алгоритма рассчитываются коэффициенты эффективности схем лечения пациентов, определенных для лечения различных заболеваний и используемых в работе алгоритма определения схем лечения. По мере накопления и верификации статистики осуществляется обновление коэффициентов, что позволяет рассматривать лечение пациентов с точки зрения динамического процесса управления. *Доказаны положения №2 и №3.*

В четвертой главе представлена функциональная схема программного комплекса МИС (рисунок 9). Описана оригинальная структура реляционного хранилища, информация из которой выгружается в файлы, заданного формата с указанной периодичностью для дальнейшего использования при работе алгоритмов подбора схем медикаментозного лечения.

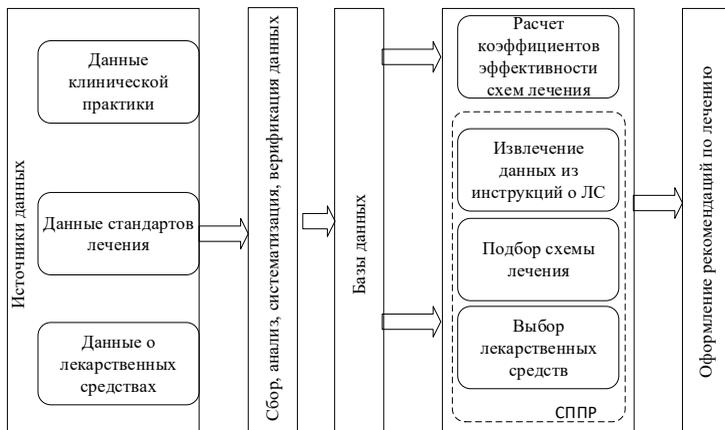


Рисунок 9 - Функциональная схема программного комплекса медицинской информационной системы

Рассмотрен пример использования разработанных алгоритмов. Окно с входящей информацией и окно вывода результатов представлены на рисунках 10 и 11 соответственно.

Для обоснования качества алгоритма построения нечеткого дерева решений проведен проверочный эксперимент по контрольной выборке из 235 схем лечения, который подтвердил качество модели. Отклонения расчетных показателей от реальных составили 2,5-4,0%.

ФИО пол: М Ж возраст: рост: вес:

Диагноз: код МКБ:

Хронические заболевания

Диагноз: Код МКБ:

Аллергическая реакция на лекарства

Медикаменты: Прочее:

Получаемая терапия

МНН лекарства:

Сопутствующие состояния

Рисунок 10 - Входные данные о пациенте

ФИО пол: М Ж возраст: рост: вес: код МКБ:

Диагноз:

действующее вещество	торговое название	форма выпуска	дозировка	кратность приема	разовая доза	способ введения	оригинал/дженерик	рецептурный	риски
<input checked="" type="checkbox"/> Кларитромицин	Кларикс	гранулы д.прим. суспензия	250mg/5шт	2 р/д	2 шт	перорально	-	да	низкие
<input checked="" type="checkbox"/> Дексаметазон+Неомицин	Синуэфрин	спрей	-	3 р/д	2 впрыска	интраназально	-	да	низкие
<input checked="" type="checkbox"/> +Полсивидин В									
<input checked="" type="checkbox"/> +Фенилэфрин									
<input checked="" type="checkbox"/> Ксилометазолин	Риностап	спрей	0,05%	3 р/д	1 впрыск	интраназально	-	нет	низкие
<input checked="" type="checkbox"/> Мометазон	Нозефрин	спрей	520mg	1 р/д	1 впрыск	интраназально	-	да	низкие
<input checked="" type="checkbox"/> Ибупрофен	Нурофен	сироп	100mg/5шт	3 р/д	9 мл	перорально	-	нет	низкие
<input checked="" type="checkbox"/> Парацетамол	Парацетамол	сироп	120mg/5шт	3 р/д	9 мл	перорально	-	нет	низкие

	Ситуационно					
	Утро	День	Вечер	При повышении температуры	При резкой боли	Вывести в свободное поле
Кларитромицин	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Дексаметазон+Неомицин	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
+Полсивидин В	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
+Фенилэфрин	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ксилометазолин	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Мометазон	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ибупрофен	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Парацетамол	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рисунок 11 - Окно вывода результатов подбора медикаментозной терапии

Тестирование предложенного алгоритма извлечения информации из инструкций по применению ЛС, согласно схемам МЛ, проводилось в медицинском учреждении по принципу сравнения временных затрат на поиск инструкции и расчет необходимых дозировок со временем, затрачиваемым системой на формирование назначений. Точность рассчитанных дозировок определяется совпадением назначений врача и системы и подтверждает корректность работы алгоритмов. Разница во времени проведения расчетов на основании анализа 354 ситуаций сравнения составила 9%.

С целью оценки предложенных методов и алгоритмов была собрана и проанализирована статистика по выявленным случаям заболевания острым синуситом среди больных разного возраста, обратившихся за лечением в медицинское учреждение. Особый интерес представляют данные, отражающие информацию о смене схемы лечения, а также о возникших осложнениях, проявляющихся в возникновении хронического синусита, т.е. повторному обращению пациентов.

В рамках тестирования разработанных алгоритмов специалистами было предложено ознакомление со схемами лечения, предлагаемыми системой с последующим их использованием. Отмечается, что в 73% случаев подобранные схемы назначались пациентам без каких-либо корректировок. В

условиях небольшой статистики по отдельно взятому медицинскому учреждению и использованию системы в тестовом режиме данный результат может быть оценен как положительный.

Дальнейший анализ проводился на выборке статистических данных за последние 12 месяцев работы медучреждения. Использование реализованной системы медицинского назначения в результате применения разработанных алгоритмов для подбора схем медикаментозного лечения пациентов позволили сформировать качественную рекомендательную базу. По результатам сравнения (на основе экспертной группы) был сделан вывод, что количество случаев, требующих корректировки схемы лечения и количество выявленных случаев повторного обращения снизится, что позволит повысить эффективность лечения на 15-21,5%.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований решена научная задача обоснования, разработки и исследования комплекса научных и инженерных решений для медицинских систем поддержки принятия решений на основе теории нечеткой логики в части управления процессом медикаментозного лечения пациентов. Это стало возможным благодаря решению поставленных задач.

1. Проведен анализ нормативной базы в части оборота лекарственных средств, анализ принципов классификации лекарственных препаратов, требований к инструкциям по их применению и существующих информационных систем.

2. Проведен анализ существующих медицинских информационных систем, рассмотрены вопросы бюджетирования лечебно-профилактических учреждений, предложен подход к улучшению качества построения прогноза исполнения бюджета медицинского учреждения, в том числе за счет рационализации проведения медикаментозной терапии.

3. Разработан алгоритм обработки, извлечения и структуризации информации о лекарственных средствах. Разработана структура базы данных, используемой для хранения информации и обеспечивающей возможность многокритериального поиска и извлечения требуемой информации в формализованном виде.

4. Разработан метод и алгоритм определения схемы медикаментозного лечения пациента с применением нечетких деревьев решений, удовлетворяющие требованиям персонализированной медицины.

5. Разработан алгоритм подбора торговых наименований ЛС из разрешенных к применению, исходя из личного профиля пациента, а также информации о межлекарственном взаимодействии и возможных нежелательных реакциях с применением теории семантических сетей.

6. Разработан метод реализации системы медицинского назначения для управления процессом медикаментозного лечения пациентов.

Предложена структура, а также программные модули системы поддержки принятия медицинских решения в части подбора персонализированных схем лечения пациентов с возможностью расчета дозировок, исходя из личных параметров пациента.

Предложенные решения позволяют повысить эффективность лечения пациентов за счет использования верифицированных статистических данных широкой медицинской практики по лечению заболеваний, а также за счет повышения готовности пациентов к лечению с учетом получения ими доступных и подробных листов назначения. С другой стороны, предлагаемые алгоритмы снижают нагрузку на медицинский персонал, учитывая отсутствие необходимости непрерывного изучения информации о вновь появляющихся лекарственных средствах и их особенностях.

Совокупность предлагаемых в диссертационной работе алгоритмов, методов и программных решений создает предпосылки для разработки информационных систем медицинского назначения, позволяющих осуществлять процесс управления медикаментозным лечением на основании широкой медицинской практики применения лекарственных препаратов для пациентов с различными профилями и степенью тяжести заболеваний согласно принципам персонализированной медицины.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК

1. Саморукова, О. Д. Выбор схемы лечения на основе нечеткого дерева решений при автоматизации процесса управления медикаментозным лечением пациентов в системах медицинского назначения / О. Д. Саморукова // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2025. — № 28, № 4. — С. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604136-202504-12>.
2. Саморукова, О.Д. Применение семантических сетей для подбора лекарственных средств в рамках процесса управления медикаментозным лечением пациентов / О. Д. Саморукова, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, С. Ю. Жулева // Вестник РГРТУ. — 2025. — № 94. — С. 151-157. DOI: [10.21667/1995-4565-2025-94-151-157](https://doi.org/10.21667/1995-4565-2025-94-151-157).
3. Саморукова О.Д. Моделирование процессов управления в организационных системах на основе теории нечетких когнитивных карт / О. Д. Саморукова, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, Г. В. Овечкин. // Вестник РГРТУ. — 2025. — № 91. — С. 64-75. DOI: [10.21667/1995-4565-2025-91-64-75](https://doi.org/10.21667/1995-4565-2025-91-64-75).
4. Саморукова, О.Д. Задачи разработки систем медицинского назначения при выборе схемы медикаментозного лечения / О. Д. Саморукова, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, С. Ю. Жулева. // Вестник РГРТУ. — 2024. — № 88. — С. 106-114. DOI: [10.21667/1995-4565-2024-88-106-114](https://doi.org/10.21667/1995-4565-2024-88-106-114).
5. Саморукова, О.Д. Цифровая трансформация процессов бюджетного планирования и прогнозирования в организационных системах медицинского назначения / О. Д. Саморукова, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина // Современные наукоемкие технологии. — 2025. — № 6. — С. 39-44. DOI: <https://doi.org/10.17513/snt.40420>.

в свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025693995 «Система поддержки принятия решений в вопросах подбора медикаментозной терапии (СППР «МТ-2025»)), дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 03.12.2025 г. (РОСПАТЕНТ).

в изданиях, индексируемые в международных реферативных базах (Web of Science и (или) Scopus)

7. Samorukova, O. D. The integration of fuzzy logic techniques and semantic networks for the purpose of addressing the issue of managing patient drug treatments / O. D. Samorukova, A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina. // 2025 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — 2025.

8. Samorukova, O. D. Decision support system for medicines treatment rationalizing / O. D. Samorukova, A. V. Kroshilin, S. V. Kroshilina. // On Promising Advances In Informatics, Information Systems And Network (ETISSN 2024). — : AST Consortium, 2024.

в других изданиях

9. Саморукова, О. Д. Принципы построения семантических сетей для подбора лекарственных средств в рамках процесса медикаментозного лечения / О. Д. Саморукова, А. В. Крошилилин, С. В. Крошилилина. // Анализ проблем и поиск перспективных научных решений: сборник статей международной научной конференции (Санкт-Петербург, Сентябрь 2025). — СПб. : МИПИ им.Ломоносова, 2025. — С. 44.

10. Саморукова, О. Д. Функциональные возможности системы поддержки принятия решений в процессе управления медикаментозным лечением пациентов / О. Д. Саморукова. // Наука. Образование. Инновации: новые подходы и актуальные исследования. Сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции. — Анапа : НИЦ ЭСП в ЮФО, 2025. — С. 10-14.

11. Саморукова, О. Д. Методы и алгоритмы, используемые при построении системы поддержки принятия решений медикаментозного лечения / О. Д. Саморукова, А. В. Крошилилин, С. В. Крошилилина. // Приоритетные направления развития науки и технологий : сборник докладов по материалам XXXVI Международной науч.- практич. конф.. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2025. — С. 164-166.

12. Саморукова, О. Д. Алгоритм управления процессом медикаментозного лечения пациентов / О. Д. Саморукова. // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2025: сб. тр. VIII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.4. — Рязань : Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2025. — С. 61-65.

13. Саморукова, О. Д. Основные аспекты применения информационных систем медицинского назначения / О. Д. Саморукова. // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр.. — Рязань : ИП Коняхин А.В. (Book jet), 2025. — С. 126-130.

14. Саморукова, О. Д. Когнитивные технологии и вопросы управления в информационных системах медицинского назначения / О. Д. Саморукова. // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. — : ИП Коняхин А.В., 2024. — С. 54-56.

15. Саморукова О.Д. Способы автоматической обработки входящей информации при подборе схемы медикаментозного лечения / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилилин // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2024 [текст]: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.4./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2024.-218 с.

16. Саморукова О.Д. Обзор методов индексирования базы данных медицинских препаратов в Oracle database / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилин // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Г.В. Овечкина - Рязань: РГРТУ им. В.Ф. Уткина, январь 2024.
17. Саморукова О.Д. Построение системы поддержки принятия решений для медицинских организаций / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилин // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. РГРТУ имени В.Ф. Уткина. 2023 - 197 с.
18. Саморукова О.Д. Ключевые аспекты разработки системы поддержки принятия решений при подборе схемы медикаментозного лечения / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – БИОМЕДСИСТЕМЫ-2023 [текст]: сб. тр. XXXVI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 6-8 декабря 2023 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023. – 332с., ил.
19. Саморукова О.Д. Постановка и методы решения задачи прогнозирования исполнения бюджета предприятий / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилин // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Г.В. Овечкина - Рязань: РГРТУ им. В.Ф. Уткина, май 2023.
20. Саморукова О.Д. Возможности применения нейронных сетей при составлении прогноза исполнения бюджета предприятия / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилин // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2023 [текст]: сб. тр. VI междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.4./под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: РГРТУ, 2023 – 234 с.
21. Саморукова О.Д. Обзор математических методов прогнозирования бюджета предприятия / О.Д. Саморукова, А.В. Крошилин // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Г.В. Овечкина - Рязань: РГРТУ им. В.Ф. Уткина, январь 2023-124 с.
22. Саморукова О.Д. Роль информационных технологий в системе контроля и прогнозирования исполнения бюджета предприятий / О.Д. Саморукова, С.В. Крошилина // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2022 – 294 с.

Саморукова Ольга Дмитриевна

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО ЛЕЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ
В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать . Формат бумаги 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.
Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина.
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.